

OFDM 방식의 차세대 단거리전용통신(DSRC)

시스템의 성능 분석

김만호* · 강희조*

*목원대학교 컴퓨터멀티미디어콘텐츠공학부

Performance Analysis of the Dedicated Short Range Communication System using OFDM

Man-Ho Kim* · Heau-Jo Kang*

*Div. of Computer Multimedia Content Eng., Mokwon Univ.

E-mail : mhkim@mokwon.ac.kr

요 약

본 논문에서는 지능형 교통망 시스템 서비스에 사용하는 5.8GHz 대역에서 OFDM을 이용한 단거리 전용 통신 시스템의 성능을 분석하였다. 현재의 DSRC 시스템은 1Mbps 이상의 데이터 서비스가 어려울 것으로 예상되므로 개선된 변복조방식이 요구된다. OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식은 보호구간의 삽입을 통하여 ISI를 방지할 수 있으므로 고속 데이터 전송에 적합하다. 따라서, 본 논문에서는 데이터 변조 방식으로는 IEEE 802.11a에 근거한 부 반송파의 수가 64개인 QPSK 변조 방식을 사용하는 OFDM 시스템을 모델링 하고, 도플러 천이 효과를 고려한 Clark & Gans 페이딩 환경에서 성능을 분석하였다. 또한 페이딩 환경에서는 성능의 열화 정도가 크기 때문에 이를 극복하기 위해 채널 예측기를 사용하여 채널 응답을 근사적으로 예측·보상하였다.

I. 서 론

교통량의 증가에 따른 교통, 환경, 에너지, 국가 경쟁력 등의 문제해결과 더불어 보다 향상된 주행 서비스를 제공하기 위하여 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent Transportation System)에 대한 연구가 시작되었고, 이를 구현하기 위한 효율적인 통신방식으로 단거리전용통신(DSRC : Dedicated Short Range Communication)이 대두되었다. ITS는 기존의 교통시설물에 첨단 정보통신기술을 접목시켜 시설 이용의 극대화를 꾀하는 차세대 교통시스템으로서 현재의 교통 혼잡을 최소화하고 교통사고 및 교통공해 문제를 대폭적으로 줄일 수 있는 효과적인 해결책으로 기대를 모으고 있다[1]-[4].

DSRC는 ITS의 서비스를 제공하기 위한 통신수단의 하나로써, 노변장치라 불리는 도로변에 위치한 소형기지국(RSE : Road Side Equipment)과 차량 내에 탑재된 차량탑재장치(OBU : On Board Unit)를 이용한 ITS용 단거리 전용통신을 의미한다[4].

현재의 1Mbps급 시스템은 값싸고, 단순한 회로로 구현되지만 페이딩 채널에서 충분한 성능을

기대할 수 없다. 따라서 현재 고속 데이터 전송 시스템에서 가장 널리 이용되는 OFDM을 차세대 DSRC 채널 환경에 적용하여 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 ITU에서 ITS 주파수 대역으로 권고하는 5.8GHz 대역을 사용하고, IEEE 802.11a 무선 LAN 표준안을 사용하여 OFDM 프레임 포맷을 구성하고, Clark & Gans 페이딩 환경에서 QPSK 변조방식을 사용하는 OFDM 시스템을 모델링 하였다. 또한 페이딩 환경에서는 성능의 열화 정도가 크기 때문에 이를 극복하기 위해 별도의 기술이 요구된다. 따라서 긴 훈련 심볼을 사용하는 채널 예측기를 사용하여 주파수 영역에서의 채널 응답을 예측·보상하였다.

II. OFDM 시스템

2.1 OFDM 통신 시스템

OFDM은 다수의 병렬 부반송파에 정보를 실어 스펙트럼상에서 직교성을 유지하는 최소 주파수 간격으로 중첩을 허용하여 전송할 수 있으므로 스펙트럼 효율을 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 다중경로 페이딩에도 강한 전송방식이다.

그림 1과 그림 2에는 각각 OFDM 송신기와 수신기의 기본적인 구조를 나타내었다[5].

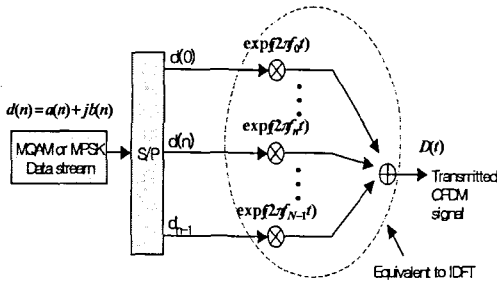


그림 1. OFDM 시스템의 송신기

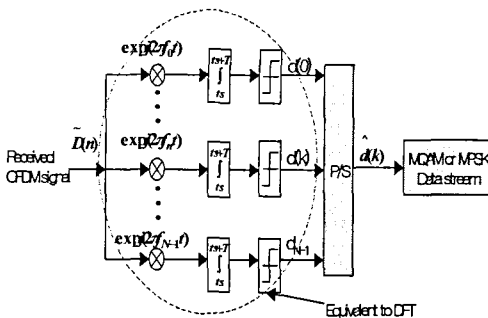


그림 2. OFDM 시스템의 수신기

각각의 부반송파에 대한 변조를 MPSK나 MQAM과 같은 2차원 심볼을 이용하는 경우, 변조에 이용되는 심볼은 $d(n) = a(n) + jb(n)$ 과 같은 복소수로 표현할 수 있다. 따라서, OFDM 심볼의 복소 등가 저역신호는 다음과 같다.

$$D(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [a(n) + jb(n)] e^{j2\pi f_n t} \quad (1)$$

여기서, $f_n = n\Delta f$ 이고, $\Delta f = 1/NT = 1/T_B$ 이다. 수신된 신호에 대해 k 번째 부 채널에 대해서 역다중화 및 동기검파를 수행한 신호는 다음과 같다.

$$\hat{d}(k) = \frac{1}{T_B} \int_0^{T_B} \tilde{D}(t) e^{-j2\pi k t} dt \quad (2)$$

여기서, $\tilde{D}(t)$ 는 채널을 통과하여 수신된 OFDM 신호이고, $\hat{d}(k)$ 는 k 번째 부반송파에 실린 정보를 동기 검파한 신호이다. 채널에서의 왜곡이 없는 경우, $\tilde{D}(t)$ 는 $D(t)$ 와 동일하게 된다. 위의 식은 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{d}(k) &= \frac{1}{T_B} \int_0^{T_B} \sum_{n=0}^{N-1} [a(n) + jb(n)] e^{j2\pi f_n t} e^{-j2\pi k t} dt \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} [a(n) + jb(n)] \frac{1}{T_B} \int_0^{T_B} e^{j2\pi f_n t} e^{-j2\pi k t} dt \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} [a(n) + jb(n)] \delta(n - k) \\ &= a(k) + jb(k) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3) 으로부터 OFDM 신호의 직교성이 증명되며, 이러한 OFDM 신호의 직교성을 이용하면, 채널의 왜곡을 받지 않는 경우, 수신신호에 대해 동기검파된 신호는 송신된 정보와 동일하다는 것을 알 수 있다.

2.2 채널 모델

이동 무선 채널은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 실제적인 무선 채널의 모델링은 시스템 설계에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 본 논문에서 고려한 DSRC 시스템의 채널 환경은 Clark & Gans 페이딩 채널 모델이다[6].

그림 3은 x 방향으로 속도 v 로 이동중인 이동체에 랜덤한 각도로 입사하는 수신파를 보여주고 있다. 수신 각도는 이동체의 방향에 대한 x-y 평면에서 측정되는데 이동체에 입사하는 모든 파는 수신기의 이동으로 인해 발생된 도플러 천이의 영향을 받으면서 입사되며 동시에 수신기에 도달한다. 즉, 다중 경로 채널을 주파수 비선택성 페이딩 채널로 가정을 했기 때문에 초과 지연은 없다고 가정된 것이다.

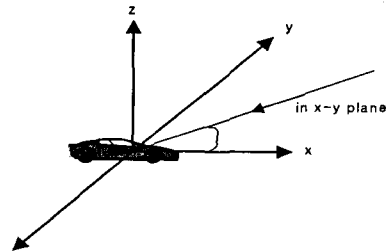


그림 3. 임의의 각도로 입사되는 수신신호

$$f_n = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha_n \quad (4)$$

여기서 λ 는 입사파의 파장이다.

Gans는 Clark 모델을 응용하여 도플러 스펙트럼을 가지는 채널 모델을 구하였다. 각도 α 에서 $d\alpha$ 내로 입사하는 미소량을 $p(\alpha)d\alpha$ 라 하고, 등방성 안테나의 평균 수신 전력을 A 로 표시한다. $N \rightarrow \infty$ 에 따라 $p(\alpha)d\alpha$ 는 연속적인 분포에 접

근한다. $G(a)$ 가 도착의 각도의 함수로서의 이동체 안테나의 방위각 이득 패턴이라면, 전체 수신 전력은 다음과 같이 표현된다.

$$P_r = \int_0^{2\pi} AG(a)p(a)da \quad (5)$$

여기서, $AG(a)p(a)da$ 는 위상변수를 갖는 수신 전력의 미소 변화량이다.

위상 변수를 갖는 수신 전력의 미분 변화량과 주파수 변수를 갖는 수신 전력의 미분 변화량의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(f)dA = A[p(a)G(a) + p(-a)G(-a)]dadf \quad (6)$$

수신 신호의 전력 스펙트럼 밀도 $S(f)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$S(f) = \frac{A[p(a)G(a) + p(-a)G(-a)]}{f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f-f_c}{f_m}\right)^2}} \quad (7)$$

여기서,

$$S(f) = 0, \quad |f-f_c| > f_m \quad (8)$$

즉, 스펙트럼은 반송파 주파수에 집중되고 $f_c \pm f_m$ 의 범위 바깥의 값은 0이 되며 수신되는 각각의 신호들은 중심 주파수로부터 편이된 주파수로 도달된다.

수직 $\frac{\lambda}{4}$ 안테나의 경우 ($G(a) = 1.5$)에 수신신호의 입사각이 $[0 \sim 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 갖는 경우 입사각의 확률 밀도함수는 $p(a) = \frac{1}{2\pi}$ 이고 스펙트럼은 다음과 같이 주어진다.

$$S_{Ez}(f) = \frac{1.5}{\pi f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f-f_c}{f_m}\right)^2}} \quad (9)$$

여기서, f_m 은 최대 도플러 천이이다.

2.3 채널예측기

본 논문에서 고려한 OFDM 신호는 경로차가 고정되어 있고 지연 확산으로 인한 심볼간 간섭의 영향을 더 받을 것이다. 고정된 데이터 전송률을 갖는 시스템에 대해 보다 긴 경로차(더 큰 지

연확산)를 갖는 전파 환경은 더 심한 심볼간 간섭을 발생시키므로 전송 특성을 개선하기 위하여 기본적인 페이딩 대책 기술을 적용할 필요가 있다[7].

본 논문에서는 전송되는 데이터의 패킷 길이에 대응되는 시간동안 패킷 구간내의 채널 예측을 위해 긴 훈련심볼을 사용한다. 사용한 알고리즘은 두 개의 긴 훈련심볼에 대한 평균을 취하여 채널을 예측하는 방법이다[8].

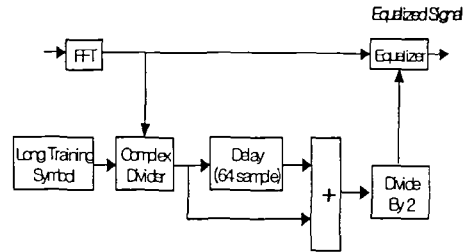


그림 4. 긴 훈련 심볼을 이용하는 채널 예측기의 시스템 모델

III. 시뮬레이션 결과 분석 및 성능비교

Clark & Gans 페이딩 채널 환경에서 채널예측기를 적용하여 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 사용된 OFDM 시스템의 파라미터는 표 1에 나타내었다.

표 1. OFDM 시스템 파라미터

Data rate	12 Mbit/s
Modulation	QPSK
FFT size, N	64
The number of subcarrier	48(data) +4(pilot)
Guard interval duration	0.8μs
Channel coding	Coding rate 1/2 Convolution coder
Fading channel	Clark & Gans fading

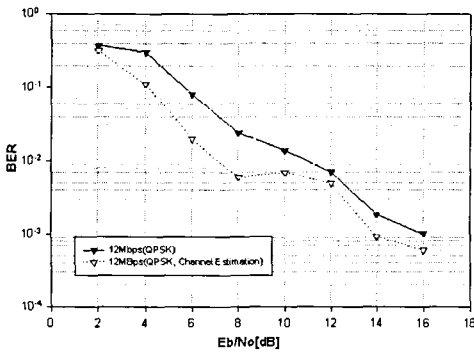


그림 4. 채널 예측기를 적용한 OFDM/QPSK 시스템의 성능

그림 4는 무선채널 환경에서 페이딩의 영향을 받아 수신된 신호와 채널예측기를 적용하여 보상시킨 경우의 OFDM/QPSK(12Mbps) 시스템의 BER 특성을 나타낸다.

그림 4에서 알 수 있듯이 채널예측기를 적용한 후의 OFDM/QPSK 시스템은 채널 예측기를 적용하기 전의 시스템보다 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

최근 차량의 이동 무선 채널에서 10Mbps 이상인 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 OFDM 방식이 연구되고 있는데, OFDM 방식은 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 부채널로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식이다.

따라서 본 논문에서는 12 Mbps 전송 속도를 갖는 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 분석하고, 고정된 데이터 전송률을 갖는 시스템에 대해 보다 긴 경로차(더 큰 지연확산)를 갖는 페이딩 환경 하에서 전송 특성을 개선하기 위하여 패킷 길이에 대응되는 시간동안 패킷 구간내의 채널 예측을 위해 긴 훈련 심볼을 사용하는 채널 예측기를 적용하였다.

시뮬레이션의 결과로, Clark & Gans 페이딩 채널 환경에서 채널 예측기를 적용한 후의 OFDM/QPSK 시스템은 채널 예측기를 적용하기 전의 시스템 보다 수신 성능이 약 2dB 가량 향상됨을 알 수 있었다.

지역혁신 인력양성사업

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- [1] Scott D. Elliott, Daniel J. Dailey, Wireless Communications for Intelligent Transportation Systems, Artech House Inc., 1995.
- [2] Rachard Whelan, Smart Highways, Smart Cars, Artech House Inc., 1995.
- [3] 이상건, 이승환, "ITS 서비스 구현을 통한 교통정보화 추진방향," Telecommunications Review, 제9권 4호, pp. 474-485, 1999.
- [4] 한국전산원, 지능형 교통시스템(ITS) 통신 프로토콜 및 통신망 구성 연구, 1998년 11월.
- [5] R. Van Nee and R. Prasad. OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, 2000.
- [6] Theodore S. Rappaport, cellular radio & personal communications, 1995.
- [7] SAMUEL C.YANG(김남수역), "CDMA 이동통신 공학", 대영사, 1999
- [8] J. Heiskala, J. Terry, Ph. D., OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide, SAMS, 2002.